

Dra Rosalba Martinez  
ross-mar2001@yahoo.com

## Objetivo

Analizar circ. electricos basicos considerando el modelado y las limitaciones de los dispositivos, interpretar el funcionamiento de los sistemas electrónicos y sus aplicaciones

## Temario:

1. Introducción
2. Conceptos fisicos de semiconductores
3. El diodo semiconductor y modelos
4. El transistor bipolar de juntura TBJ
5. El transistor de efecto de campo FET
6. El amplificador operacional
7. Intro a los reguladores de tension
8. dispositivos opticos y de potencia

## Bibliografia:

- NEAMEN, Donald "Microelectronics: circuit Analysis and Design, 4th edition New York McGrawHill 2010
- SEDRA, Adel. Smith, K. C. Microelectronics circuits 6th edition New York Oxford University Press 2010
- Jaeger, Richard, Blalock, Travis "Micro electronic circuit design, 4th edition New York McGrawHill 2011
- Boylestad, Robert, Nashelsky, Louis "Electronic devices and circuit theory, 7th edition New Jersey PrenticeHall 2009
- Rashid, Muhammad "Microelectronic circuits: Analysis and design 2nd edition Canada Cengage Learning 2011



## Evaluación

hoja por ambos lados  
formulario, calculadora, lapiz, goma

Exámenes — 65% (2 exámenes: temas 2 al 4, y 5 al 8)  
Tareas y ejérc — 10%  
Lab aprobado — 25% \* derecho a final lab aprobado y 80% asist.

## Historia

- Invención del transistor

- Invención del circuito integrado → Silicio → Semiconductores

### ☆ Procesos de fabricación

- Preguntas de diseño
- instrucciones
- materiales
- espesores

### ☆ Proceso de fabricación de un circuito integrado ☆

- Concepto original del nuevo dispositivo
- Especificaciones de la tecnología del proceso

Diseño por computadora

Simulación y diseño de dispositivos

Generación de máscaras

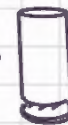
\* Traer hojas para ejercicios integrables

Arma: dióxido de silicio  
grado electrónico ultrapuro?

1. Silicio  
2. Policristalino líquido



3. Monocristalino lingote



4. obleas

fotolitografía

5. Depósito de capa de material



oblea + fotoresist

+ máscara (dividido)

Positivo — el que se pone  
Se pega  
negativo — el opuesto  
a la máscara  
es el grabado

\* Se expone a luz UV \*

6. Transferencia de patrón



7. Eliminación del exceso de material



8. inspección inicial

9. Corte



10. Sección individual



11. Alambreado



12. Empaquetado



13. Prueba final



2-06-2025

**Banda de energia**

Níveis de energia (depende do átomo) cada capa tem

Num electrones =  $2n^2$  donde  $n$  es el número de la capa

Num máximo capa 1  $\rightarrow$  2 elétrons :  $2(1)^2 = 2$   
 " " " " " " " " :  $2(2)^2 = 8$   
 " " " " " " " " :  $2(3)^2 = 18$   
 " " " " " " " " :  $2(4)^2 = 32$

Electrones de Valencia : electrones en la capa más externa (divalencia)

## Plantilla ejercicios

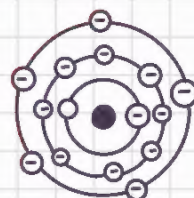
ejemplo: Silicio Num = 15

lapa 1 = 2  
lapa 2 = 8  
lapa 3 = 5

3 capas 5 electrones de Valencia

## Propiedades eléctricas de los materiales

Nombre  
 Asignatura  
 Grupo  
 Fecha

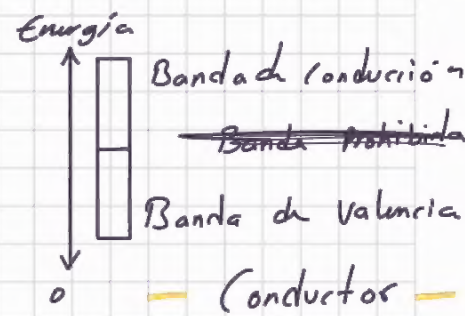
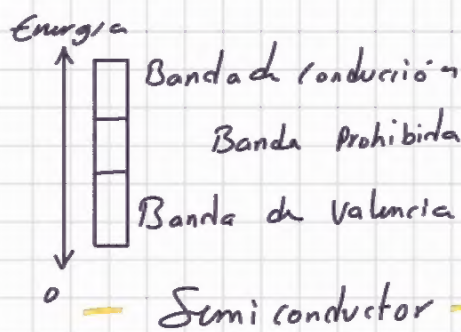
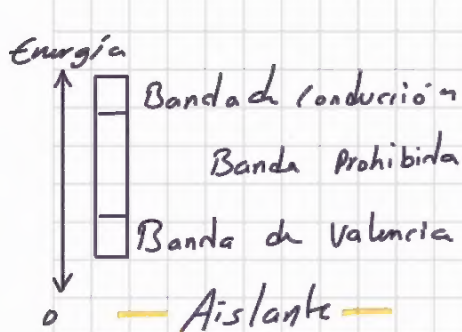


Aislantes: No conducen corriente eléctrica, electrones de valencia fuertemente enlazados.  
Conductores: Conducen corriente eléctrica, electrones de valencia sueltos, se mueven.

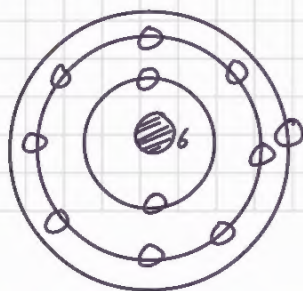
⇒ material puro  
material intrínseco  
no tiene impurezas ⇒

= materiales extrínsecos  
Se le agregan impurezas  
Proceso llamado dopaje =

Semiconductores: Pueden o no transferir corriente  
electrones en la capa de Valencia pueden o no convertirse en electrones  
libres al migrar a la capa de conducción



Carga neta = Carga Positiva de núcleo — electrones de las capas internas excepto la de Valencia



6-2-8 →

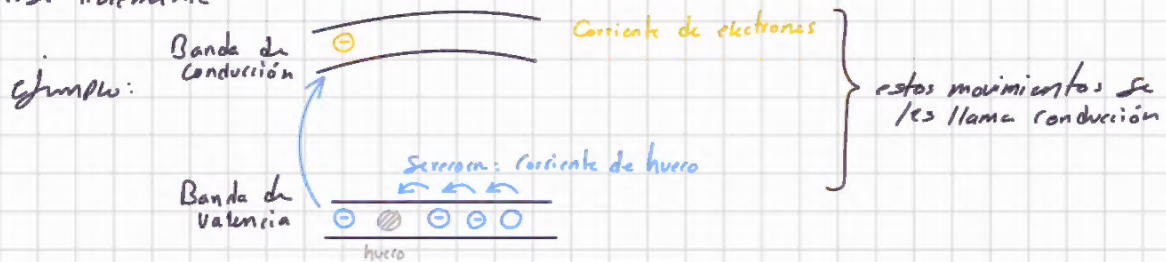
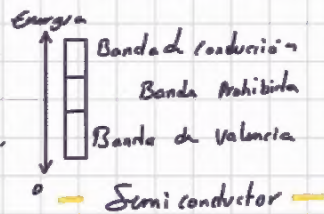


Enlaces covalentes: cristal de silicio, comparten un electron de Valencia.  
comparten 8 electrones de Valencia



Se comparten 8 electrones de Valencia

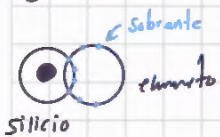
Conducción eléctrica entre semiconductores  
cuando pasa a conducción:  
Se convierte en electron libre y deja un "hueco" en la de Valencia



Semiconductores: Tipo N

Se agregan átomos de impureza pentavalente (5 elect de Valencia)

Ejemplo



(Se pasa de los 8 que necesitábamos)

cede ese electrón (donador)

y no deja hueco ya es excedente.

Portadores mayoritarios y minoritarios  
electrones huecos

Tipo P

Se agregan átomos de impureza trivalente

Se cuentan electrones o huecos de d

Portadores de Corriente

mayoritarios

huecos

minoritarios

electrones

► Relación entre las concentraciones de electrones y huecos en un semiconductor.

►  $n_0 p_0 = n_i^2$

►  $n_0 \approx Nd$

►  $p_0 = \frac{n_i^2}{Nd}$

►  $p_0 \approx Na$

►  $n_0 = \frac{n_i^2}{Na}$

►  $n_0 \approx n_i$

►  $n_i$  Concentración de portadores intrínsecos

►  $Na$  concentración de donadores

►  $Na$  concentración de aceptores

►  $n_i$  Concentración de equilibrio térmico de los electrones libres.

►  $p_i$  Concentración de equilibrio térmico de los huecos.

### Ejercicio 3

Febrero - 11 - 2025

Ejercicio 3: 1. Considere un material de silicio temperatura  $T = 300 K$  dopado con fósforo en una concentración de  $N_d = 1 \times 10^{16} [cm^{-3}]$  y  $n_i = 1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}]$  en contrar la concentración de electrones y la concentración de huecos libres.

Fósforo 5 electrones de Valencia, Tipo N  
mayoritarios elect  
minoritarios huecos

electrones  $n_0 = ?$   
huecos  $p_0 = ?$

$n_0 \approx N_d = 1 \times 10^{16} [cm^{-3}] //$

$n_0 p_0 = n_i^2 \rightarrow p_0 = \frac{(n_i)^2}{n_0}$

$p_0 = \frac{(1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}])^2}{1 \times 10^{16} [cm^{-3}]}$

$p_0 = \frac{2.25 \times 10^{20} [cm^{-3}]}{1 \times 10^{16} [cm^{-3}]}$

$p_0 = 22500 [cm^{-3}] //$

2. Considere un material de silicio en  $T = 300 K$  dopado con boro en una concentración de  $N_a = 5 \times 10^{16} [cm^{-3}]$  y  $n_i = 1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}]$ , en contrar la concentración de electrones y la concentración de huecos.

electrones  $n_0 = ?$   
huecos  $p_0 = ?$

$p_0 \approx N_a = 5 \times 10^{16} [cm^{-3}] //$

$n_0 p_0 = n_i^2$

$n_0 = \frac{(n_i)^2}{p_0}$

$n_0 = \frac{(1.5 \times 10^{10} [cm^{-3}])^2}{5 \times 10^{16} [cm^{-3}]}$

$n_0 = \frac{2.25 \times 10^{20} [cm^{-3}]}{5 \times 10^{16} [cm^{-3}]}$

$n_0 = 4500 [cm^{-3}] //$



## ejercicio 4

### Cálculo de $n_i$

$n_i$  denota el número de electrones libres y huecos de un silicio intrínseco a una temperatura determinada.

$$n_i = BT^{-3/2} e^{-E_g/2kT} \text{ cm}^{-3}$$

B es un parámetro dependiente del material, para el silicio es:

$$7.3 \times 10^{15} \text{ [cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}]$$

T es la temperatura.  $E_g$  es un parámetro conocido como energía de banda prohibida, es 1.12 electron volt (eV) para el silicio, y k es la constante de Boltzmann ( $8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$ ).  $E_g$  es la energía mínima requerida para romper un enlace covalente y por lo tanto generar un par electrón-hueco

número de pares

13-02-25

Conductividad eléctrica ( $\sigma$ ): capacidad para dejar pasar corriente eléctrica

$$\sigma = q(p\mu_p + n\mu_n) \text{ [}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}\text{]}$$

q: carga del electrón  $1.6 \times 10^{-19} \text{ [C]}$

p: concentración de huecos

n: concentración de electrones libres

$\mu_p$ : Movilidad del hueco

$\mu_n$ : Movilidad del electrón

Conductividad también es inversa de la resistividad ( $\rho$ )

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ [S]} \text{ siemens}$$

Resistividad ( $\rho$ ): que tanto se opone el material al paso de resistencia eléctrica

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q(p\mu_p + n\mu_n)} \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]}$$

Donde q es la carga del electrón  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Coulomb) p es la concentración de huecos, n es la concentración de electrones libres,  $\mu_p$  es la movilidad del hueco,  $\mu_n$  es la movilidad del electrón.

- p concentración de huecos
- n concentración de electrones libres

Material tipo p

Material tipo n

$$p_p n_p = n_i^2$$

$$p_n n_n = n_i^2$$

$$p_p \approx N_A$$

$$p_n \approx \frac{n_i^2}{N_D}$$

$$n_p \approx \frac{n_i^2}{N_A}$$

$$n_n \approx N_D$$

$N_A$  concentración de aceptores

$N_D$  concentración de donadores

$n_i$  concentración de electrones libres y huecos

Camacho Ignacio Violeta  
Dispositivos electrónicos  
Grupo 8  
Fecha: febrero - 13 - 2025

Encontrar la resistividad

( $N_A$  concentración de aceptores)

1) Silicio intrínseco

2) Silicio de tipo p con  $N_A = 10^{16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$

Utilizar  $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$

y asumir para el silicio intrínseco  $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

y para el silicio dopado  $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

Silicio intrínseco:  $p = n = n_i = 1.6 \times 10^{10} \text{ [C]}$

1) Silicio intrínseco

$q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [C]}$ ,  $\mu_n = 1350 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}]$ ,  $\mu_p = 480 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}]$

$p = n = n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$

$\rho = \frac{1}{\sigma}$   $\sigma = q(p\mu_p + n\mu_n) \text{ [}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}\text{]}$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} [(1.5 \times 10^{10})(480) + (1.5 \times 10^{10})(1350)]$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} (7.2 \times 10^{12} + 2.025 \times 10^{13})$

$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} (2.745 \times 10^{13})$

$\sigma = 4.392 \times 10^{-6}$

$\rho = \frac{1}{4.392 \times 10^{-6}} = 227686.70 \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]}$

Resistividad material intrínseco baja

Camacho Ignacio Violeta  
Dispositivos electrónicos  
Grupo 8  
Febrero - 11 - 2025

$$B = 7.3 \times 10^{15} \text{ [cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}]$$

$$E_g = 1.12 \text{ [eV]}$$

$$k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ [eV/K]}$$

ejercicio 4: 1. Calcular  $n_i$  para el silicio con  $T = 50 \text{ [K]}$  y  $T = 350 \text{ [K]}$

2. Considera un silicio dopado en una con concentración  $N_D = 1 \times 10^{17} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$  y  $n_i$  el valor obtenido en el ejercicio para  $T = 350 \text{ [K]}$ , encontrar la concentración de electrones y la concentración de huecos

$$1. T = 50 \text{ [K]} \quad n_i = (B)(T)^{3/2} (e^{-E_g/2kT})$$

$$n_i = (7.3 \times 10^{15}) (50)^{3/2} (e^{-1.12/2(8.62 \times 10^{-5})(50)})$$

$$n_i = (7.3 \times 10^{15}) (353.55) (e^{-1.12/2(4.31 \times 10^{-3})})$$

$$n_i = (2.580915 \times 10^{18}) (e^{-1.12/8.62 \times 10^{-3}})$$

$$n_i = 9.632086378 \times 10^{-39} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

$T = 350 \text{ [K]}$

$$n_i = (7.3 \times 10^{15}) (350)^{3/2} (e^{-1.12/2(8.62 \times 10^{-5})(350)})$$

$$n_i = (7.3 \times 10^{15}) (6547.90) (e^{-1.12/2(0.03017)})$$

$$n_i = (4.779967 \times 10^{19}) (e^{-1.12/0.06034})$$

$$n_i = 1.017058006 \times 10^{12} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

2.  $n_0 = ?$

$$n_0 \approx N_D = 1 \times 10^{17} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

$p_0 = ?$

$$p_0 = \frac{(n_i)^2}{n_0}$$

$$p_0 = \frac{(1.017058006 \times 10^{12})^2}{1 \times 10^{17}} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

$$p_0 = \frac{1.034406988 \times 10^{24}}{1 \times 10^{17}}$$

$$p_0 = 10344069.88 \text{ [cm}^{-3}\text{]}$$

2) Silicio dopado tipo p  $\rightarrow$  los aceptores son los huecos

$N_A = 10^{16} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$ ,  $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ [cm}^{-3}\text{]}$ ,  $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ [C]}$

$\mu_n = 1110 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}]$ ,  $\mu_p = 480 \text{ [cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}]$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad \sigma = q(p\mu_p + n\mu_n) \text{ [}\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}\text{]}$$

electrones libres:  $N_D = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{10^{16}}$

$$N_D = 22500$$

huecos:  $p_0 = N_A = 10^{16}$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} [(10^{16})(480) + (22500)(1110)]$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} (4 \times 10^{18} + 24975000)$$

$$\sigma = 1.6 \times 10^{-19} (4 \times 10^{18})$$

$$\sigma = 0.64 \quad \rho = \frac{1}{\sigma} = 1.5625 \text{ [}\Omega \cdot \text{cm}\text{]}$$

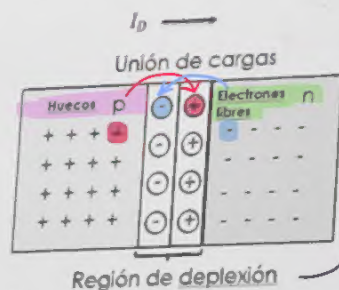
Resistividad material dopado baja



**Unión PN:** cuando las regiones p y n están adyacentes entre sí

### La corriente de difusión $I_D$

La concentración de huecos es alta en la región p y baja en la región n, los huecos se difunden a través de la unión desde el lado p al lado n. De manera similar, los electrones se difunden a través de la unión desde el lado n hacia el lado p. Estos dos componentes se suman para formar la corriente de difusión  $I_D$ , cuya dirección es desde el lado p hacia el lado n.



Los signos "+" en el material tipo p indican la mayoría de los huecos. En el material tipo n, la mayoría de los electrones se indican mediante signos "-".

P: exceso de huecos  
N: exceso de electrones

→ **ó de agotamiento:** Se genera un campo eléctrico que se opone a la difusión entre ellos, a esto se le conoce como Voltaje de barrera

Corriente de difusión: Portadores mayoritarios  
Corriente de deriva: Portadores minoritarios

### El voltaje incorporado de la unión

Si un voltaje externo aplicado, el voltaje de barrera  $V_0$  a través de la unión pn se puede obtener por

$$V_0 = V_T \ln \left( \frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

Donde  $N_A$  y  $N_D$  son las concentraciones de dopaje del lado p y del lado n de la unión, respectivamente. Por tanto,  $V_0$  depende tanto de las concentraciones de dopaje como de la temperatura.

Voltaje térmico  $V_T = kT/q$

$k$  es la constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K).

$T$  es la temperatura

$q$  es la carga del electrón  $1.6 \times 10^{-19}$  C (Coulomb)

### Ejercicio 6

La magnitud de la carga en el lado n de la unión se expresa como:

$$|Q_+| = qA x_n N_D$$

y en el lado p de la unión como:

$$|Q_-| = qA x_p N_A$$

si denotamos el ancho de la región de agotamiento en el lado p por  $x_p$  y en el lado n por  $x_n$ .  
 $A$  es el área de la sección transversal.

El ancho  $W$  de la capa de agotamiento

$$W = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon}{q} \left( \frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_0}$$

donde  $\epsilon$  es la permitividad eléctrica del silicio

$$\epsilon = 11.7\epsilon_0 = 11.7 \times 8.85 \times 10^{-14} \text{ F/cm}$$

Para obtener  $x_n$  y  $x_p$

$$x_n = W \frac{N_A}{N_A + N_D}$$

$$x_p = W \frac{N_D}{N_A + N_D}$$

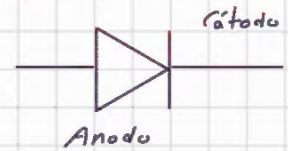
La carga almacenada a ambos lados de la región de agotamiento se puede expresar

$$Q_J = |Q_+| = |Q_-|$$

$$Q_J = Aq \left( \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) W$$

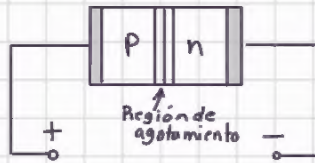
$$Q_J = A \sqrt{2\epsilon q \left( \frac{N_A N_D}{N_A + N_D} \right) V_0}$$

# Diodo Semiconductor



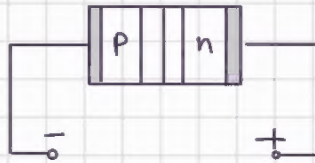
Diodo Permite el Paso de la corriente en un solo sentido dependiendo de como se Polarize

Polarización directa



Diodo se comporta como conductor

Polarización inversa



Diodo se comporta como aislante

Sin Polarización tampoco conduce nada

Para obtener la Polarización:

donde

$I_S$ : corriente de saturación inversa

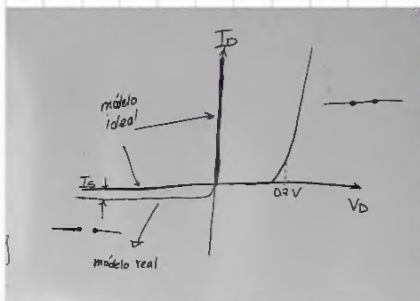
$V_D$ : Voltaje de polarización en directa aplicado a través del diodo

$n$ : es un factor de idealidad, se supone que es 1, si no se especifica que valga 2

$V_T$ : Voltaje térmico  $V_T = \frac{kT}{q}$

\* temperatura debe estar en Kelvin [K] sino, sumar 273 a la temperatura en Celsius  $^{\circ}$

Modelo de diodo ideal:



$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1) [A]$$

$$V_D = nV_T \ln(1 + \frac{I_D}{I_S})$$

$$I_S = \frac{I_D}{(e^{V_D/nV_T} - 1)}$$

## Ejercicio 7

Camacho Ignacio Violeta  
Dispositivos electrónicos  
Grupo 8  
Fecha: 18 - Febrero - 2025

Ejercicio 7  $I_A = 1 \times 10^{-15}$

- a) encuentre el voltaje del diodo, para un diodo de silicio con  $I_S = 0.1 [A]$  operando en una temperatura  $T = 300 [K]$  y corriente de  $300 [mA]$

b) cuál es el Voltaje del diodo si  $I_S = 10 [A]$

c) cuál es el Voltaje del diodo si la corriente es  $1 [mA]$

$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} (300)}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.025875 [V]$
- Encuentra el Voltaje del diodo con  $I_S = 10 [nA]$  y  $n = 2$ , operando a  $T = 300 [K]$  y corriente de  $10 [A]$

$V_D = nV_T \ln(1 + \frac{I_D}{I_S})$
- Un diodo de silicio es operado a  $50^{\circ}C$  y el voltaje medido es de  $0.736 [V]$  y corriente  $2.5 [mA]$  ¿cuál es la corriente de saturación del diodo? Suponiendo  $n = 1$

$I_A = 1 \times 10^{-15}$   
 $MA = 1 \times 10^{-6}$   
 $mA = 1 \times 10^{-3}$   
 $nA = 1 \times 10^{-9}$

1.  $V_T = 0.025875$

a)  $V_D = ?$  si  $I_S = 0.1 [A]$   $I_D = 300 [mA] = 3 \times 10^{-4} [A]$   $V_T = 0.025875$

$I_S = 0.1 [A] = 1 \times 10^{-16} [A]$   $n = 1$

$V_D = (1)(0.025875) \ln(1 + \frac{3 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-16}})$

$V_D = 0.7433 [V]$

b)  $V_D = ?$  si  $I_S = 10 [A]$

$V_D = (1)(0.025875) \ln(1 + \frac{3 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-16}})$

$V_D = 0.6242 [V]$

c)  $V_D = ?$  si  $I_D = 1 [mA]$

$V_D = (1)(0.025875) \ln(1 + \frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-16}})$

$V_D = 0.7745 [V]$

2.  $V_D = ?$  si  $I_S = 10 [nA] = 1 \times 10^{-8} [A]$   $n = 2$   $T = 300 [K]$   $I_D = 10 [A]$

$V_D = nV_T \ln(1 + \frac{I_D}{I_S})$

$V_D = (2)(0.025875) \ln(1 + \frac{10}{1 \times 10^{-8}})$

$V_D = 1.0724 [V]$

Ejercicio 7

3.  $T = 50^{\circ}C = 323 [K]$   $n = 1$   
 $V_D = 0.736 [V]$   $I_D = 2.5 [mA] = 2.5 \times 10^{-3} [A]$

Corriente de saturación  $I_S = ?$

$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1.38 \times 10^{-23} (323)}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.02785 [V]$

$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1) [A]$

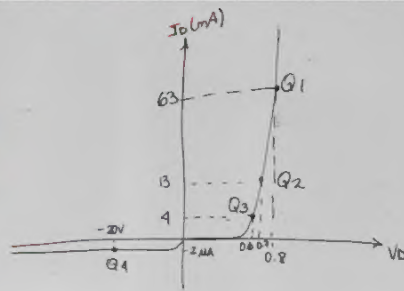
$I_S = \frac{I_D}{(e^{V_D/nV_T} - 1)} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{(e^{0.736/0.02785} - 1)}$

$I_S = 8.83132 \times 10^{-15} [A]$



# Resistencia estática

Resistencia estática



$$R_{DQ1} = \frac{0.8}{63 \times 10^{-3}} = 12.698 [\Omega]$$

$$R_{DQ2} = \frac{0.7}{13 \times 10^{-3}} = 53.84 [\Omega]$$

$$R_{DQ3} = \frac{0.6}{4 \times 10^{-3}} = 150 [\Omega]$$

$$R_{DQ4} = \frac{-2 \times 10^{-6}}{-20} = 10 [M\Omega]$$

02-26-25

Resistencia promedio en CA en torno a un punto de operación

$$r_{prom} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{V_{QA} - V_{QB}}{I_{QA} - I_{QB}}$$

$$V_{QA} = 0.8V$$

$$I_{QA} = 42.5mA$$

$$V_{QB} = 0.75V$$

$$I_{QB} = 22.5mA$$

$$r_{prom} = \frac{0.8 - 0.75}{42.5 \times 10^{-3} - 22.5 \times 10^{-3}}$$

$$r_{prom} = 2.5 [\Omega]$$

Resistencia CA o dinámica

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{26mV}{I_D}$$

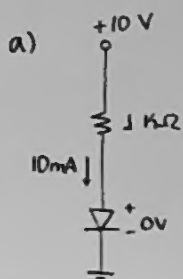
Cuando el rango de variación del punto de operación sobre la curva característica del diodo debido al efecto de una señal de CA aplicada no es grande, sino más bien tiende a estar alrededor de un punto de operación determinado, se habla de

Voltaje de encendido de un diodo de

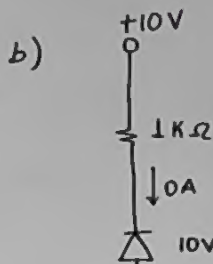
Silicio : 0.7[V]

Germanio [V]

resistencia dinámica.



Polarización Directa

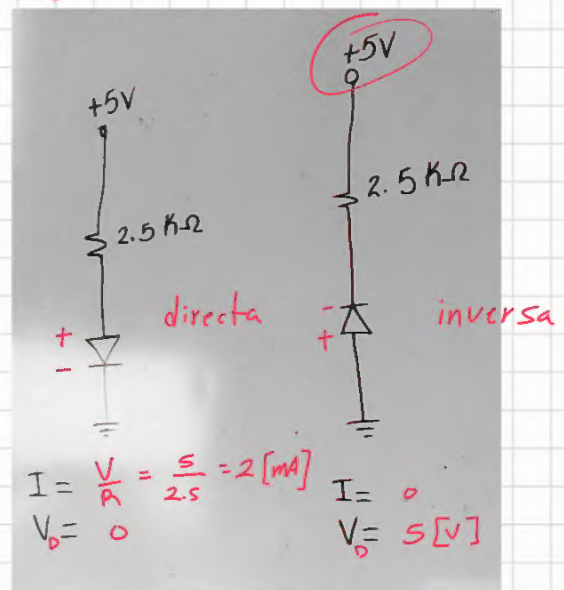


Polarización Inversa

Hay corriente y voltaje del diodo

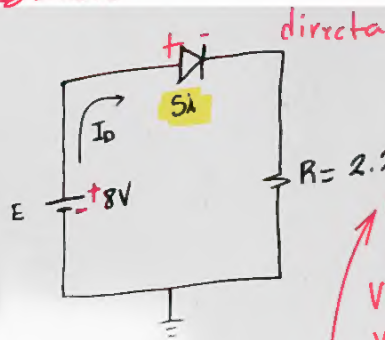
No hay corriente, y voltaje de diodo es el de la fuente

Ejemplo:





## Ejemplo

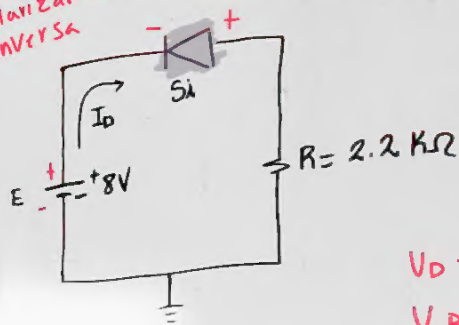


Calcular  $V_D$ ,  $V_R$  e  $I_D$

modo real,  
voltaje de encendido  
 $V_D = 0.7 \text{ [V]}$   
 $V_R = V - V_D = 8 - 0.7 = 7.3 \text{ [V]}$   
 $I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{7.3}{2.2} = 3.318 \text{ [mA]}$

- Si tuvieras **modo real**  
Voltaje de encendido
- Sino, modo ideal

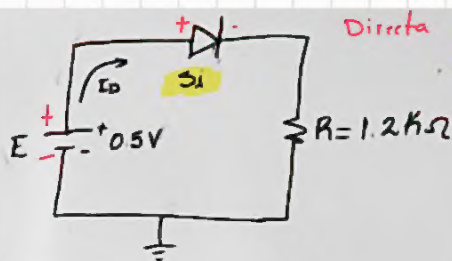
Polarización  
inversa



Calcular  $V_D$ ,  $V_R$  e  $I_D$

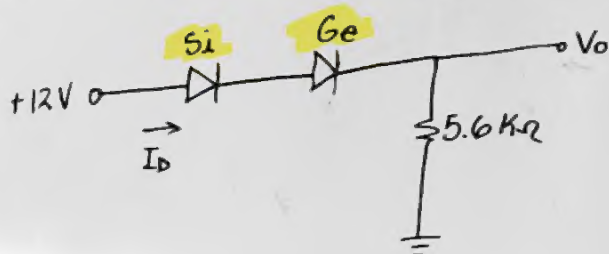
Por la polarización:  
el voltaje es el  
mismo de la fuente  
 $V_D = 8 \text{ [V]}$   
 $V_R = 0$   
 $I_D = 0$   
 no hay corriente

## Ejercicio:



Calcular  $V_D$ ,  $V_R$  e  $I_D$

$V_D = 0.7 \text{ [V]}$   
 $V_R = V - V_D = 0.5 - 0.7 = -0.2 \text{ [V]}$   
 $I_D = \frac{V_R}{R} = \frac{-0.2}{1.2} = -0.1666 \text{ [mA]}$

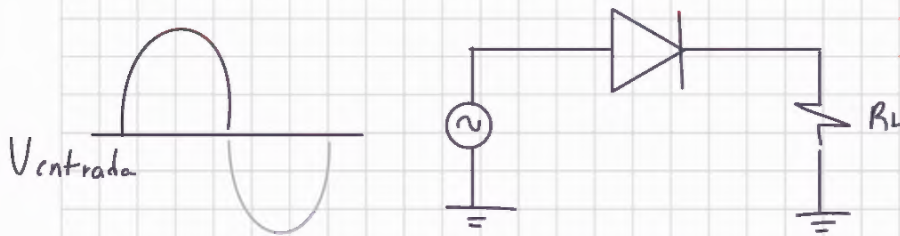


Calcular  $V_O$  e  $I_D$

$V_{D \text{ Si}} = 0.7 \text{ [V]}$   
 $V_{D \text{ Ge}} = 0.3 \text{ [V]}$   
 $V_O = 12 - 0.7 - 0.3 = 11 \text{ V}$   
 $I_D = \frac{V_O}{R} = \frac{11}{5600} = 1.9 \text{ [mA]}$



## Rectificador de media onda



$V_{salida}$

So[v]

Valor Promedio del Voltaje de Salida  
rectificado de media onda

$$V_{prom} = \frac{V_P}{\pi}$$

$V_P$ : Voltaje  
pico

$$V_{prom} = 31.8\% \text{ de } V_P$$

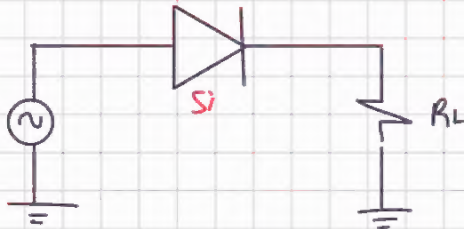
Con un Voltaje rectificador  
de media onda

Calcular  $V_{prom}$  si  $V_P = 50 \text{ [V]}$

$$V_{prom} = \frac{50}{\pi} = 15.915 \text{ [V]}$$

Si el diodo fuera de silicio

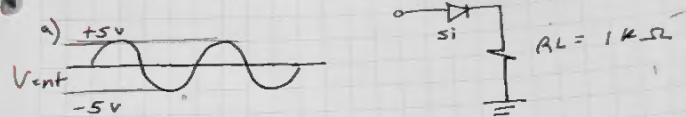
Hay que  
contar +1  
Voltaje de  
encendido



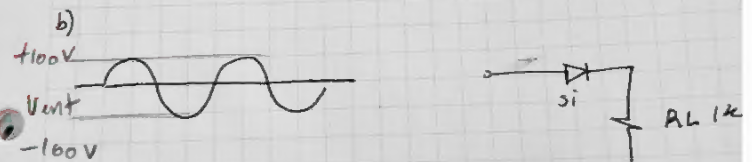
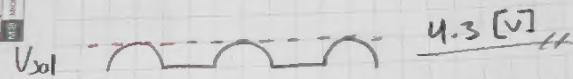
$$V_{salida} = V_P(\text{entrada}) - 0.7 \text{ V}$$

## Ejercicio 9

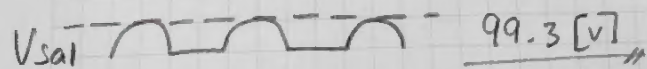
Trase los Voltajes de Salida de cada rectificador



$$V_{sal} = V_{ent} - 0.7 = 4.3 \text{ [V]}$$

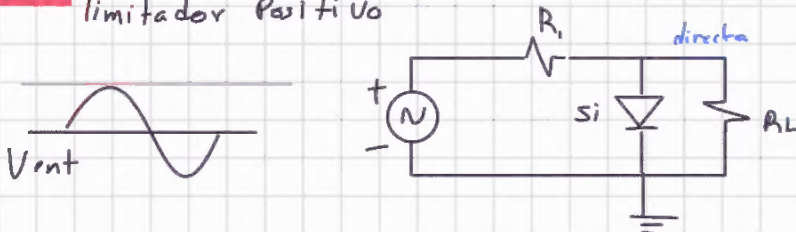


$$V_{sal} = V_{ent} - 0.7 = 99.3 \text{ [V]}$$



## Circuitos limitadores con diodos

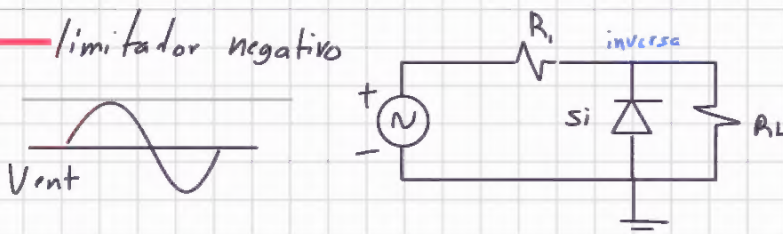
limitador positivo



$0.7 \text{ [V]}$

$$V_{sal} = \left( \frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{ent}$$

limitador negativo

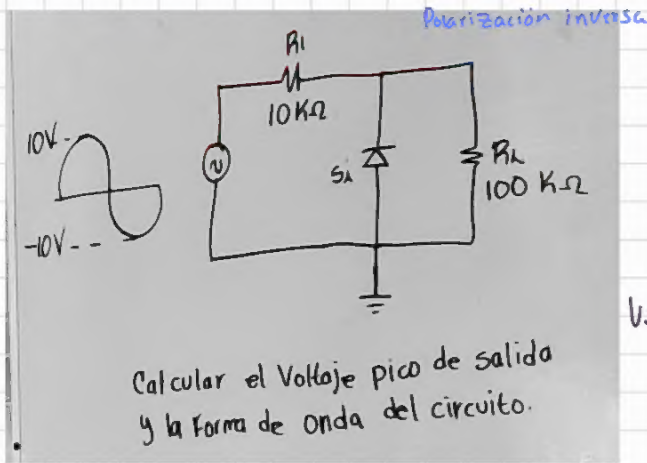


$0.7 \text{ [V]}$

$$V_{sal} = \left( \frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{ent}$$

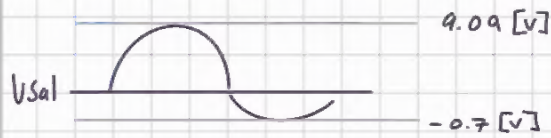


## ejercicio Para examen

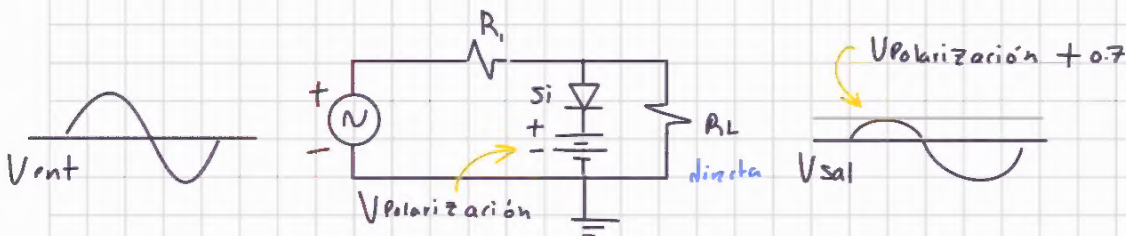


$$V_{sal} = \left( \frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{ent}$$

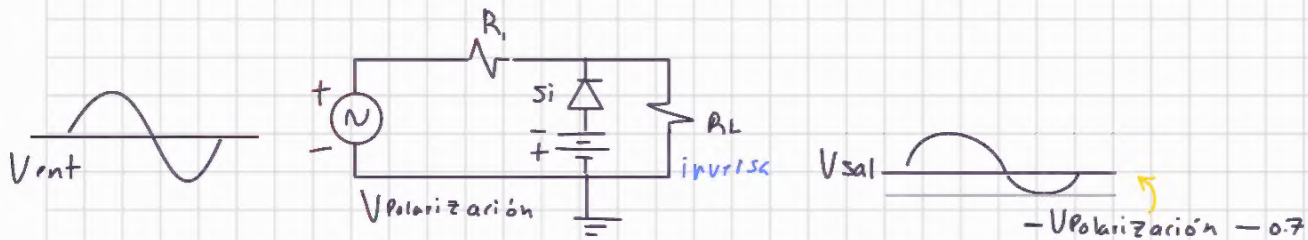
$$V_{sal} = \left( \frac{100\,000}{110\,000} \right) \times 10 = 9.09 [V]$$



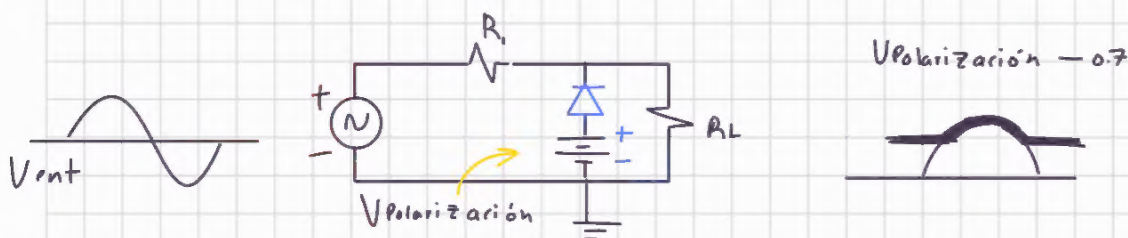
### limitador Positivo a un nivel especificado



### limitador negativo a un nivel especificado



### limitador Positivo Para limitar Por encima de la Polarización



### limitador negativo Para limitar Por debajo de la Polarización

